DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGIA Y MECANICA

CARRERA DE

- [ ] Mecánica
- [X] Mecatrónica

ASIGNATURA

- [ ] Automatización Industrial Mecánica
- [ ] Instrumentación Industrial Mecánica
- [X] Instrumentación Aplicada a la Mecatrónica

TITULO DEL TRABAJO/PROYECTO/CONSULTA/DEBER:

Revisar la teoría de los sensores primarios para lo cual el alumno presentara un resumen que contenga los siguientes parámetros:

INTEGRANTES

Nombre	Paralelo
Mauricio Joseph Taco Cabrera	**14410**

FECHA DE ENTREGA	HORA
26/05/2024	18:43

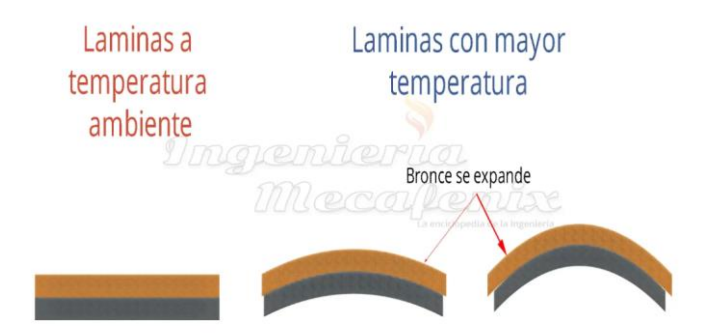
- **Sensor bimetálico:**

  Un sensor bimetálico es un dispositivo que está compuesto por dos láminas de metal, cada una de diferente material con diferentes características. Estas laminas monitorean los cambios de temperatura y dependiendo del calor que pase por ellas se pueden contraer o expandir.

  - Funcionamiento:

  El principio de funcionamiento del sensor de temperatura bimetálico se basa en la propiedad física conocida como coeficiente de expansión térmica. Cada metal se expande a una tasa diferente cuando se calienta, lo que provoca que un ensamble bimetálico se curve o se flexione. El grado de flexión es proporcional a la temperatura, permitiendo una medición precisa.

  Este mecanismo se compone de dos tiras de metal, comúnmente acero e inoxidable y cobre o latón, soldadas o remachadas juntas. Cuando el ensamble bimetálico se somete a cambios de temperatura, el metal con el coeficiente de expansión térmica más alto se expande más que el otro, lo que provoca que el conjunto se doble.



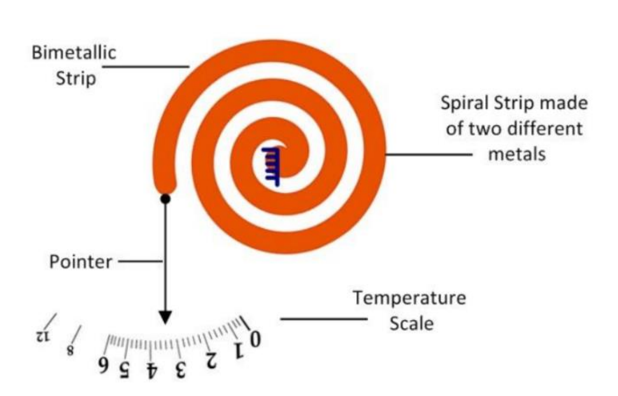
  - Variaciones:

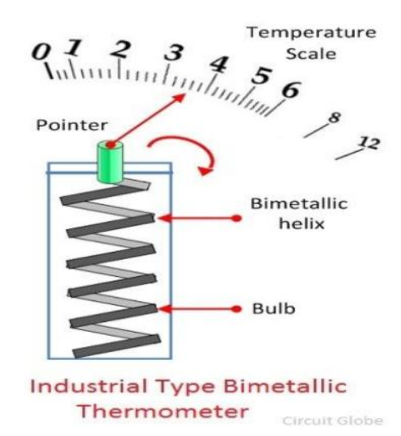
Material	α (°C⁻¹)
Concreto	$0.7 - 1.2 \times 10^{-5}$
Plata	2.0×10^{-5}
Oro	1.5×10^{-5}
Invar	0.04×10^{-5}
Plomo	3.0×10^{-5}
Zinc	2.6×10^{-5}
Hielo	5.1×10^{-5}
Aluminio	2.4×10^{-5}
Latón	1.8×10^{-5}
Cobre	1.7×10^{-5}
Vidrio	$0.4 - 0.9 \times 10^{-5}$
Hierro	1.2×10^{-5}
Cuarzo	0.04×10^{-5}
Acero	1.2×10^{-5}

Diferentes Materiales:
Las tiras bimetálicas pueden estar hechas de una combinación de varios metales. Comúnmente, estos incluyen acero y cobre, acero y latón, o invar y acero (invar es una aleación de hierro y níquel conocida por su bajo coeficiente de expansión térmica). La elección de los metales dependerá de la sensibilidad y la respuesta térmica deseada.
Forma y Tamaño:
Las tiras bimetálicas pueden ser diseñadas en diferentes formas y tamaños según la aplicación requerida. Algunas son simplemente tiras rectas, mientras que otras pueden ser enroscadas o formar espirales para aumentar su sensibilidad o compactar su diseño.
Configuración de Montaje:
Las variaciones en el montaje pueden incluir cómo y dónde se fijan las tiras. Por ejemplo, un extremo de la tira podría estar fijado mientras que el otro es libre de moverse, o ambos extremos podrían estar sujetos de manera que la flexión ocurra en el medio.

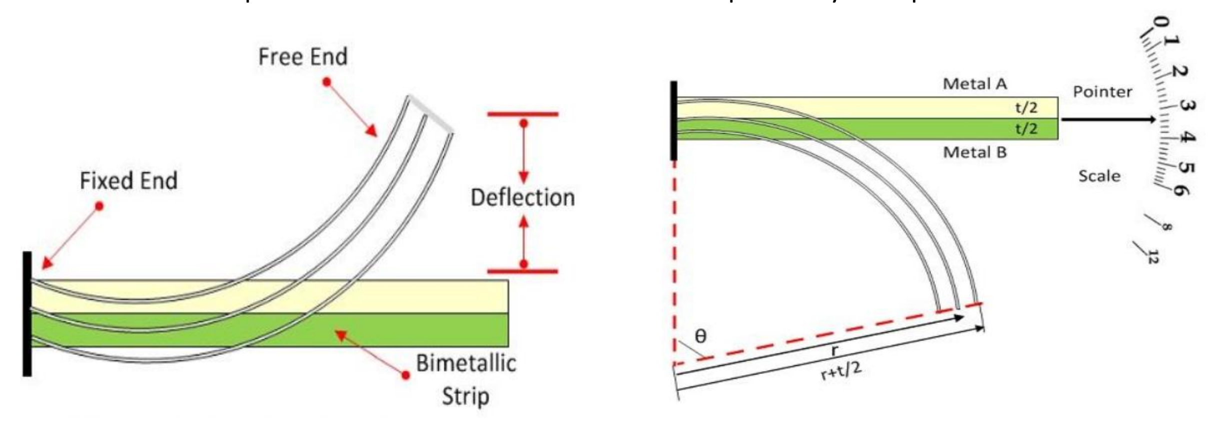
Tratamientos Superficiales:
Las superficies de los metales pueden ser tratadas para resistir la corrosión, mejorar la conductividad térmica, o modificar la emisividad radiactiva de la superficie. Estos tratamientos pueden alterar cómo la tira bimetálica responde a los cambios de temperatura ambiental.

Modificaciones en la Unión de los Metales:
El método de unión de los dos metales (como soldadura, clavado, o usando adhesivos) puede influir en la durabilidad y la conductividad térmica de la tira bimetálica.





- Ecuaciones que determinan el funcionamiento de dispositivo y sus tipos



Entendamos esto con la ayuda de la fórmula matemática. Considera que la tira bimetálica está compuesta por dos metales diferentes, es decir, el metal A y el metal B. Ambos metales tienen un coeficiente de temperatura diferente. La diferencia T2 - T1 muestra la variación de temperatura, lo que causa la expansión de la tira.

$$r = \frac{t[3(1+m)^2 + (1+mn)(m^2 + 1/mn)]}{6(\alpha_A - \alpha_B)(T_2 - T_1)(1+m)^2}$$

Donde:

- ✓ t – el grosor total de la tira
- ✓ n – la relación de los módulos de elasticidad = EB/EA
- ✓ m – la relación de los grosores
- ✓ T2 – T1 – cambio de temperatura
- ✓ tA, tB – el grosor del metal A y el metal B.
- ✓ αA, αB – el coeficiente de expansión térmica del metal A y B.

La expansión hace que la tira se mueva en un arco circular uniforme. El radio del brazo se da mediante la fórmula mostrada a continuación.

$$r = \frac{2t}{6(\alpha_A - \alpha_B)(T_2 - T_1)}$$

La ecuación anterior muestra que la tira se dobla hacia el metal que tiene un coeficiente de temperatura más bajo (cuando la temperatura aumenta) y lo inverso sucederá cuando la temperatura disminuya.

Para aplicaciones prácticas, la tira se fabrica con metales cuyos módulos de elasticidad y grosores son iguales. Los módulos de elasticidad muestran la capacidad del material para recuperar su posición o forma original después de la eliminación de la fuerza o carga.

Consideremos que la tira está fija en un extremo y libre de moverse en el otro extremo. Cuando la temperatura alrededor de la tira varía, la tira se dobla hacia el arco circular.

Consideremos que la tira está hecha del metal con un grosor t/2.

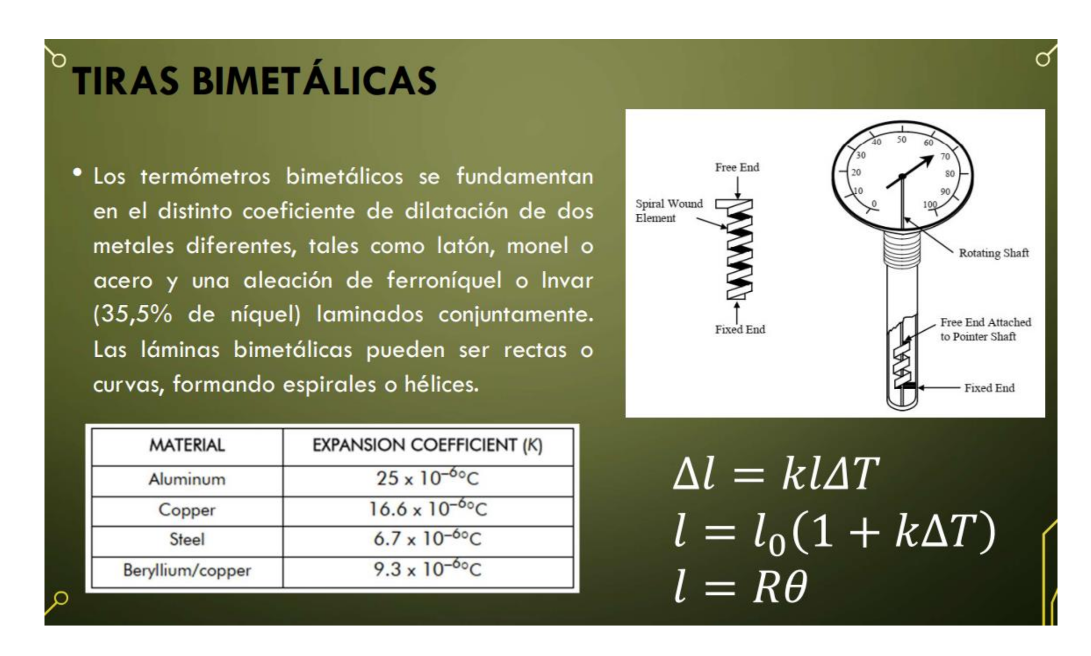
$$\frac{r + t/2}{r} = \frac{expanded\ length\ of\ strip\ A}{expanaded\ length\ of\ strip\ B}$$

$$= \frac{L[1 + \alpha_A(T_2 - T_1)]}{L[1 + \alpha_B(T_2 - T_1)]}$$

$$r = \frac{t}{2}\left[\frac{[1 + \alpha_B(T_2 - T_1)]}{[(\alpha_A - \alpha_B)(T_2 - T_1)]}\right]$$

Si uno de los metales tiene un coeficiente de temperatura muy pequeño, entonces la tira se doblará principalmente hacia ese metal cuando la temperatura aumente. Esto se debe a que el metal con un coeficiente de temperatura más bajo se expandirá menos que el metal con un coeficiente de temperatura más alto, causando que la tira bimetálica se curve hacia el metal que se expande menos.

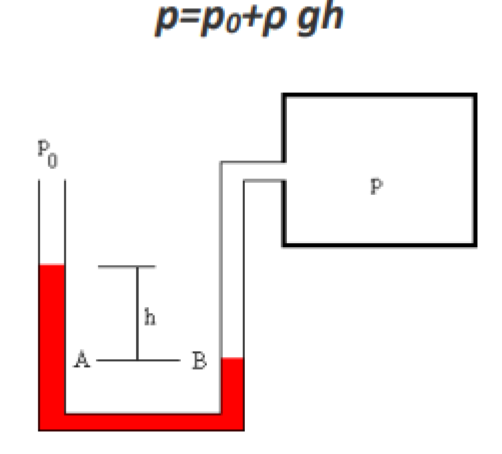
$$r = \frac{t}{2\alpha_A(T_2 - T_1)}$$



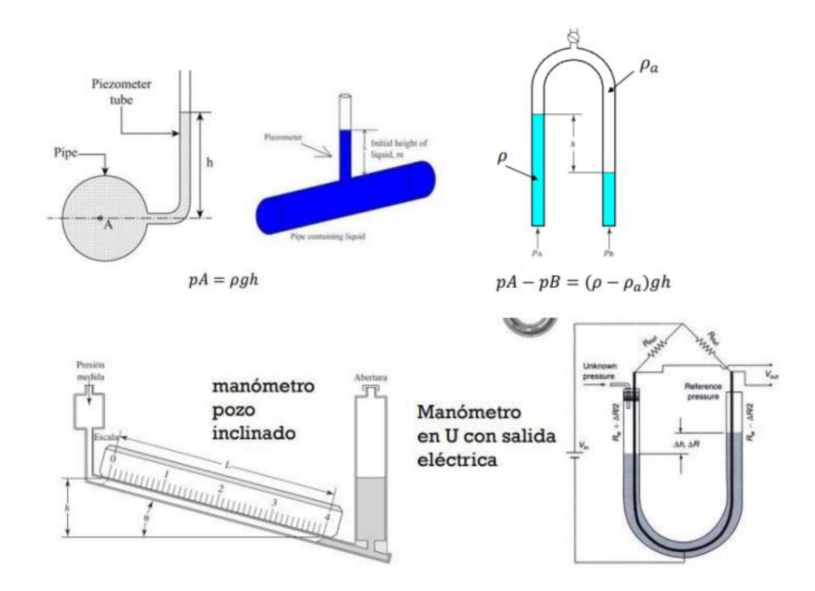
- Aplicaciones:
  1. Control de Temperatura: Los sensores bimetálicos se utilizan a menudo en termostatos de calefacción y refrigeración. Cuando la temperatura alcanza un valor determinado, el sensor se flexiona para abrir o cerrar un circuito eléctrico, controlando así el dispositivo de calefacción o refrigeración.
  2. Indicadores de Temperatura: En ciertos instrumentos de medición, como termómetros de cocina o de baño, los sensores bimetálicos pueden utilizarse para proporcionar una indicación visual de la temperatura.
  3. Protección contra Sobrecalentamiento: En dispositivos eléctricos, los sensores bimetálicos pueden actuar como interruptores de seguridad que cortan la corriente si la temperatura supera un límite seguro, protegiendo así el equipo contra daños por sobrecalentamiento.
- **Tubos en U**

Para medir la presión empleamos un dispositivo denominado manómetro. Como A y B están a la misma altura la presión en A y en B debe ser la misma. Por una rama la presión en B es debida al gas encerrado en el recipiente. Por la otra rama la presión en A es debida a la presión atmosférica más la presión debida a la diferencia de alturas del líquido manométrico.

$$p = p_0 + \rho gh$$



El tubo contiene un líquido llamado fluido manométrico, el cual no se mezcla con aquel cuya presión se va a medir. Los fluidos manométricos comunes son el agua, mercurio y aceites ligeros coloreados.



- **Tubo de Bourdon:**

Un manómetro de bourdon es el tipo más común de manómetro y utiliza un tubo curvado que se endereza bajo presión y muestra la lectura en una esfera. Sus principales características son: gran exactitud, alta precisión, resistencia a las vibraciones y fácil mantenimiento. Este artículo analiza el principio de funcionamiento, los criterios de selección y las aplicaciones de los tubos de Bourdon.

Cuando se aplica presión en el interior del tubo, debido a la deformación elástica, este tiende a enderezarse.

Este cambio de forma es proporcional a la presión aplicada y puede ser medido de diversas maneras para producir una lectura de presión.

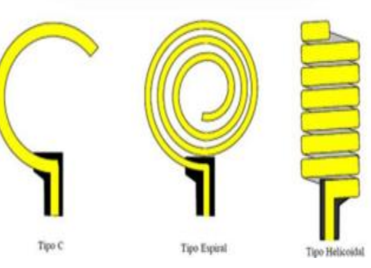
En los manómetros más simples, el movimiento del tubo de Bourdón se transmite a una aguja a través de una serie de enlaces y palancas mecánicas.

El cálculo exacto de la deformación de un tubo de Bourdón y su correspondencia con la presión medida puede ser complejo y depende de varios factores, incluyendo la geometría del tubo, el material del tubo y la presión aplicada.

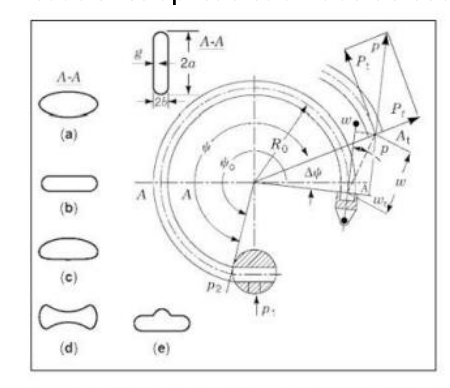
Una aproximación comúnmente utilizada para los tubos de Bourdón de tipo C es que el ángulo de rotación del extremo libre del tubo es proporcional a la presión aplicada.

Así, si se conoce la constante de proporcionalidad, se puede calcular la presión a partir del ángulo de rotación.





- Ecuaciones aplicables al tubo de bourdon (Manómetro)



Para presiones bajas y relación $\frac{g}{b} < 0.6$ *tenemos:*

$$\frac{\Delta\psi}{\psi_0} = \frac{(1-v^2)R^2(1-\frac{b^2}{a^2})\alpha}{Ebg(\beta + \frac{R^2 g^2}{a^4})}p$$

α y β son factores relacionados con la forma de la sección transversal

Para presiones altas y relación $\frac{g}{b} > 0.7$ *tenemos:*

$$\frac{\Delta\psi}{\psi_0} = \frac{(1-v^2)R^2(1-X)}{Ebg(X + \frac{g^2}{12b^2})}p$$

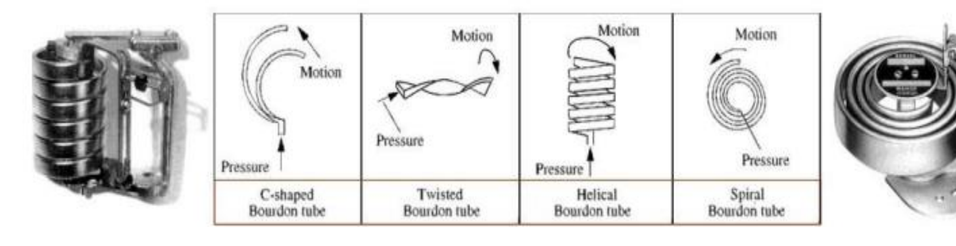
$$X = \frac{senh^2 c + sen^2 c}{c(\cosh c . senh\, c + \cos c . sen\, c)} \therefore c = \sqrt{\frac{\sqrt{3}a^2}{Rg}}$$

$\psi_0 = angulo\ inicial\ del\ tubo\ (entre\ 180^o\ y\ 270^o)$
$\psi = ángulo\ final\ del\ tubo\ donde\ \psi < \psi_0$
$\Delta\psi = variación\ del\ ángulo$
$R_0 = radio\ medio\ inicial\ del\ tubo$
$R = radio\ medio\ del\ tubo$

El desplazamiento w del extremo libre se expresa en terminos de sus componentes radiales w_R *y tangenciales* w_T

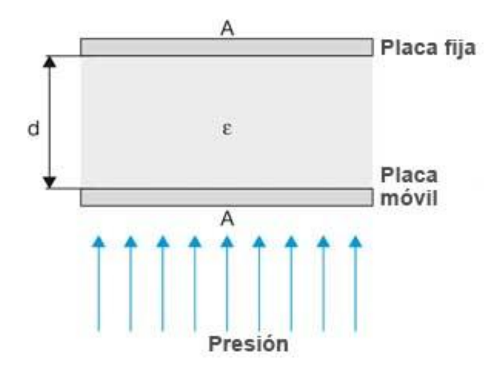
$$w_R = \frac{\Delta\psi}{\psi_0}R(1-\cos\psi_0) \qquad w_T = \frac{\Delta\psi}{\psi_0}R(1-\operatorname{sen}\psi_0)$$

Cross Section of the Tube		a/b										
		1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(a)	α	0.750	0.636	0.566	0.493	0.452	0.430	0.416	0.406	0.400	0.395	0.390
	β	0.083	0.062	0.053	0.045	0.044	0.043	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042
(b)	α	0.637	0.549	0.548	0.480	0.437	0.408	0.388	0.372	0.360	0.350	0.348
	β	0.096	0.110	0.115	0.121	0.121	0.121	0.121	0.120	0.119	0.119	0.118

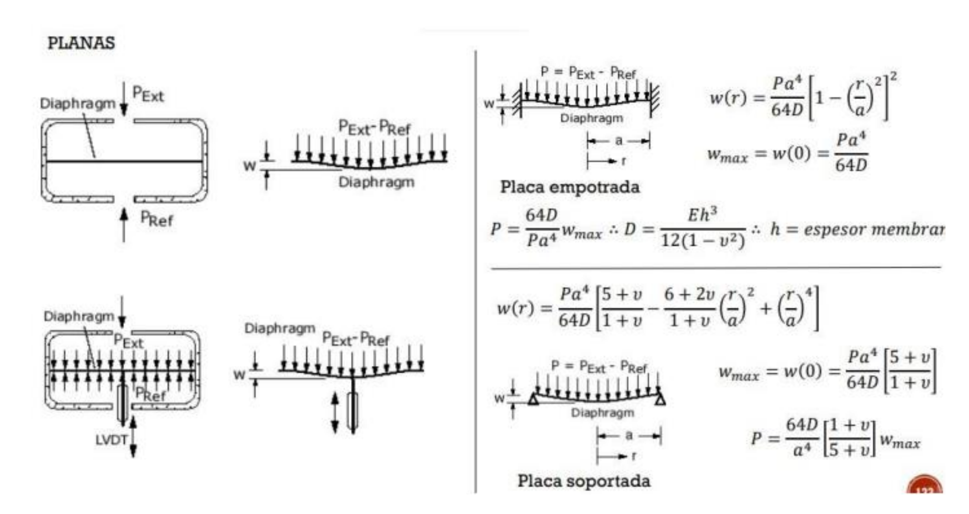


- **Diafragma o membrana**
- Funcionamiento:

Un sensor de membrana, también conocido como transductor de presión de membrana, es un dispositivo que se utiliza para medir la presión de fluidos (líquidos o gases). Funciona mediante la detección de la deformación de una membrana flexible cuando está sometida a presión.



- Ecuaciones matemáticas:

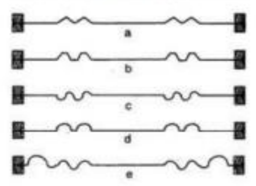


- Tipos de membranas:

CORRUGADAS



Perfiles de corrugaduras



a) Dientes de sierra
b) Trapezoidal
c) Sinusoidal
d) Toroidal
e) Sinusoidal de profundidad variable

La característica de la membrana corrugada es descrita por una ecuación cubica como:

$$p = Bw(0) + Cw(0)^2$$

donde:

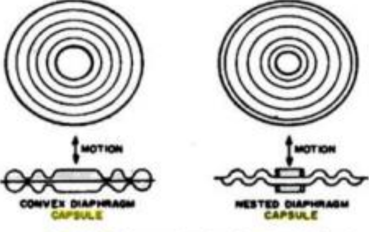
$$B = \frac{2Eh^3(3+\alpha)(1+\alpha)}{3a^4K_1\left(1-\frac{v^2}{\alpha^2}\right)} \qquad C = \frac{32EhK_2}{\alpha^4(\alpha^2-9)}\left[\frac{1}{6} - \frac{(3-v)}{(\alpha-v)(\alpha+3)}\right]$$

y:

$$\alpha = \sqrt{K_1K_2}\,; \qquad K_1 = \frac{A}{y}; \qquad K_2 = \frac{12}{hl}\int_0^A y^2\,dA + \frac{1}{l}\int_0^A \cos^2\theta\,dA$$

siendo:

A = longitud del arco de una onda completa del perfil de corrugado
l = longitud de onda del perfil
y = altura del perfil, y
θ = pendiente del ángulo de la tangente en cualquier punto del perfil



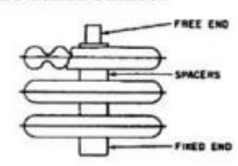
NI-SPAN-C is a trademark of the Special Metals Corporation group of companies.

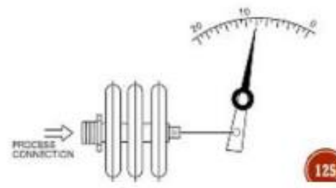
Element	Content
Nickel (plus Cobalt)	41.0-43.5
Chromium	4.90-5.75
Titanium	2.20-2.75
Aluminum	0.30-0.80
Carbon	0.06 max.
Manganese	0.80 max.
Silicon	1.00 max.
Sulfur	0.04 max.
Phosphorus	0.04 max.
Iron	Balance*

*Reference to the 'balance' of a composition does not guarantee this is exclusively of the element mentioned but that it predominates and others are present only in minimal quantities.

CAPSULAS

La sensibilidad de la capsula aumenta proporcionalmente con su diámetro.
Para incrementar el movimiento se suelen utilizar varias capsulas.
Las capsulas pueden ser utilizadas en forma horizontal o vertical.
Capsulas, diafragmas y Bourdon utilizan en su fabricación aleaciones de cobre, aceros inoxidables y Monel. Para las capsulas se utiliza también cobre al berilio por su alta elasticidad, por su pequeñísimo coeficiente termoelástico se usa la aleación NI-SPAN-C. Inconel y aceros inoxidables son utilizado en condiciones de extrema temperatura y corrosividad. Cuando se desea mínima histéresis y derivas se utiliza cuarzo.

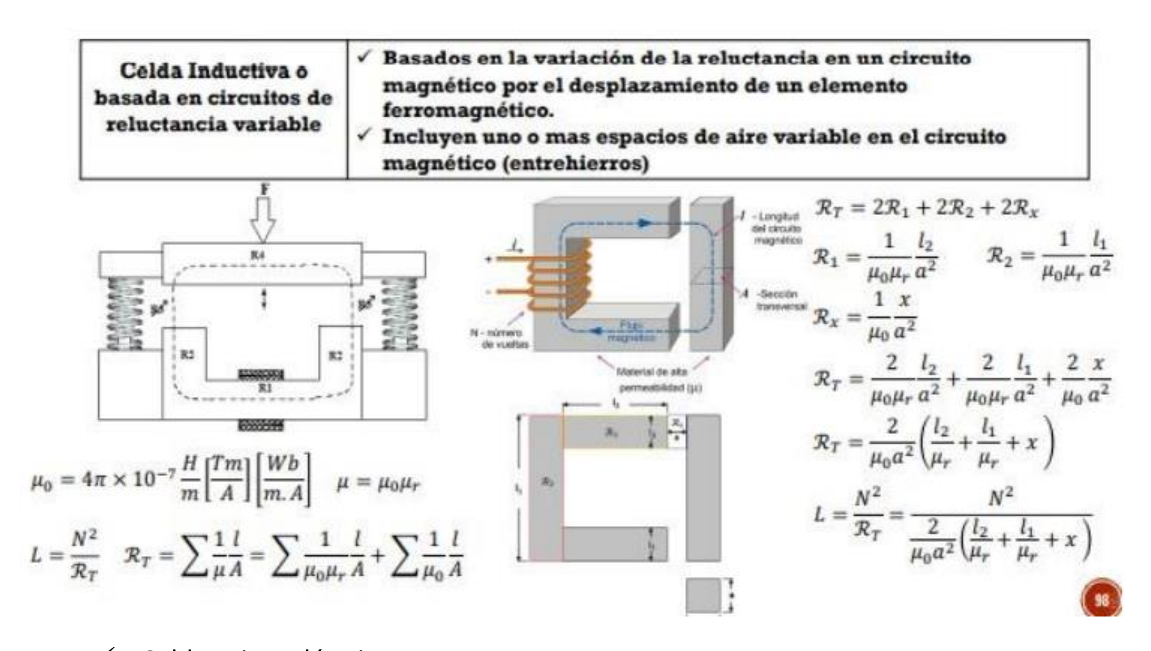




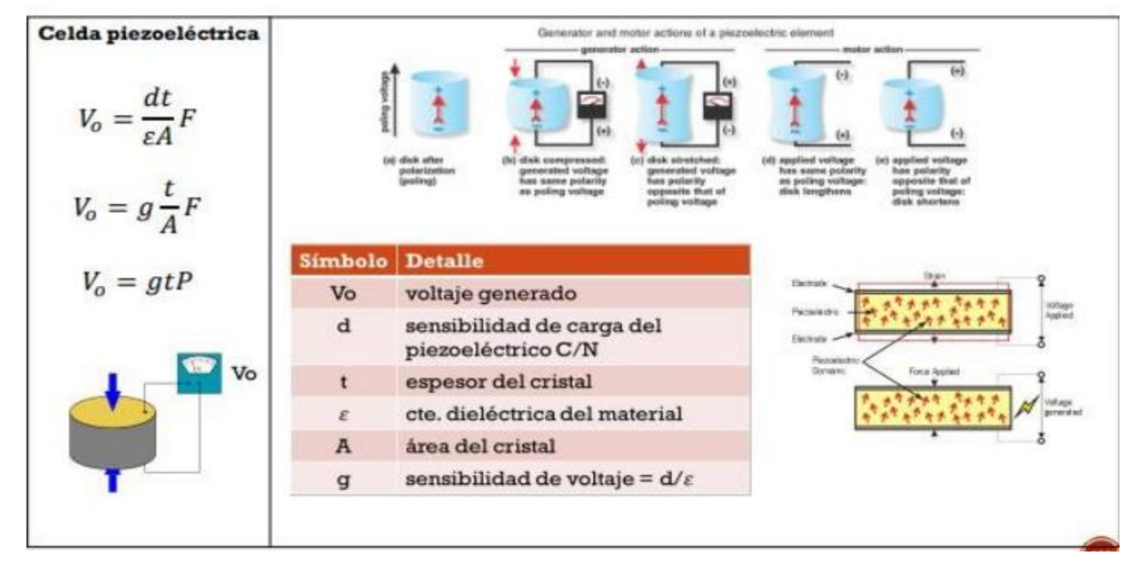
- **Celdas o células de carga para fuerza y torque**

Una celda de carga se define como un transductor que convierte una señal de entrada mecánica de carga, peso, tracción, compresión o presión, en una señal eléctrica de salida (definición de celda de carga). Los sensores de fuerza son también conocidos comúnmente como transductores de fuerza.

- Tipos de celdas de carga
  - ✓ Celdas de Carga Inductivas:
    Las celdas de carga inductivas son dispositivos de medición de fuerza que utilizan los principios de la inductancia para determinar la magnitud de la carga o peso que se está midiendo. La inductancia, que es la propiedad de un conductor eléctrico de resistir un cambio en la corriente eléctrica debido a la creación de un campo electromagnético, juega un papel vital en la función de estos dispositivos de medición de precisión.

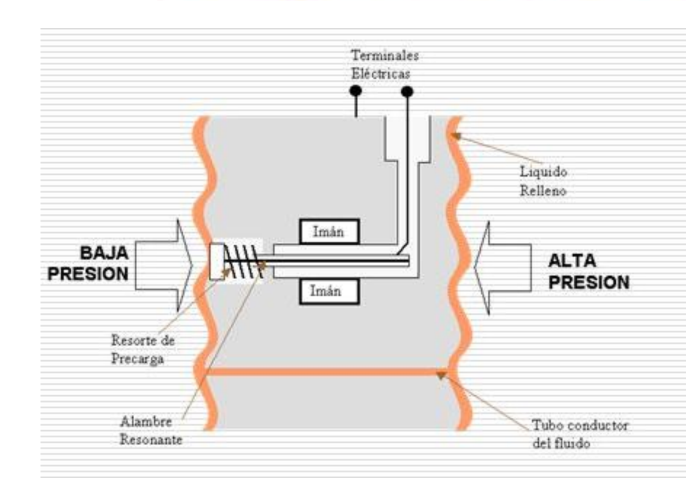


  - ✓ Celdas piezoeléctricas:



- ✓ Celdas de alambre resonante (o en vibración):

- ✓ **Un cable ferromagnético tensado, herméticamente sellado, está acoplado con una bobina electromagnética.**
- ✓ **El alambre es "punteado" por aplicación momentánea de pulsos eléctricos a la bobina, induciendo vibración en el mismo.**
- ✓ **El cable se ajustará a su frecuencia de vibración resonante, y estas vibraciones a su vez inducen la corriente de regreso a los cables de señal**
- ✓ **Esta señal se puede medir y usar para determinar la tensión en el cable y, por lo tanto, también la tensión en la estructura a la que está unida el calibre del cable vibratorio.**



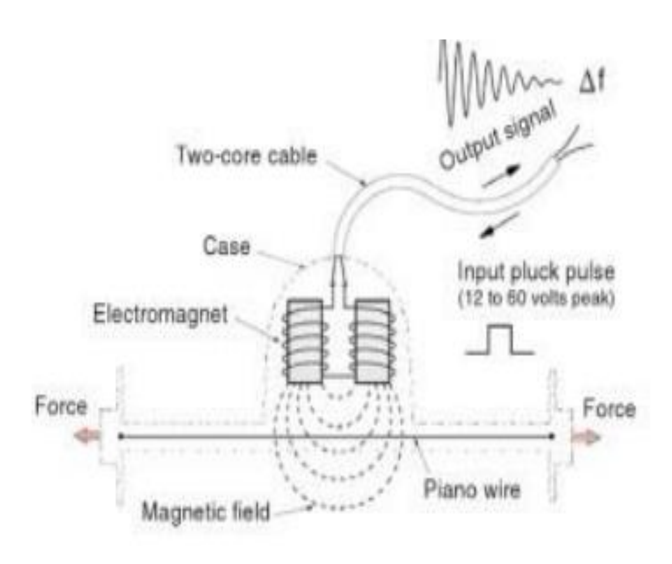
Ventajas:

- Excelente repetibilidad y muy baja histeresis
- Tecnología de medición digital con alta precisión y estabilidad.
- Alto nivel de señala de salida.
- Alta resolución.

Desventajas:

- Sensible a los cambios de temperatura ambiente.
- No lineal, requiere procesamiento de señal.
- Sensible a golpes y vibraciones.

- o Ecuaciones aplicables:

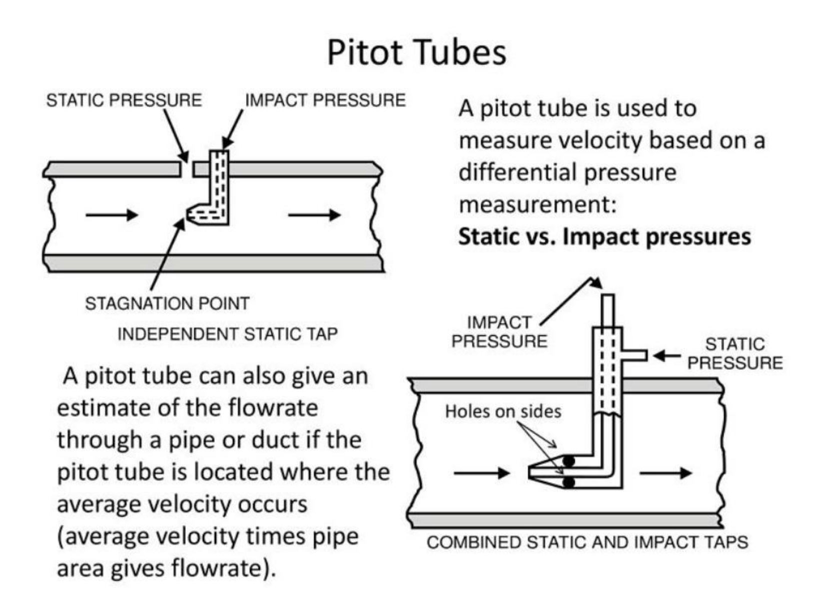


$$f_0 = \frac{1}{2L_W}\sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} \qquad \sigma = E\varepsilon \qquad \varepsilon = k(f_0^2 - f^2)$$

Símbolo	Detalle
Lw	Longitud del cable
σ, ε	Esfuerzo, deformación del cable
ρ	Densidad del cable
k	Constante de galga
f	Frecuencia medida
fo	Frecuencia natural

- **Tubo de Pitot**

El tubo de Pitot es un instrumento de importancia en la ingeniería, ya que permite calcular directamente la presión total o pérdida de carga asociada en un volumen de caudal para estimar la velocidad del fluido. Gracias a este tipo de medición, el tubo de Pitot o tubo Pitot es considerado como un medidor de caudal volumétrico del tipo deprimógeno, ya que se puede calcular el flujo de fluidos a través de la velocidad y su relación con las propiedades del fluido.



- Fundamento:

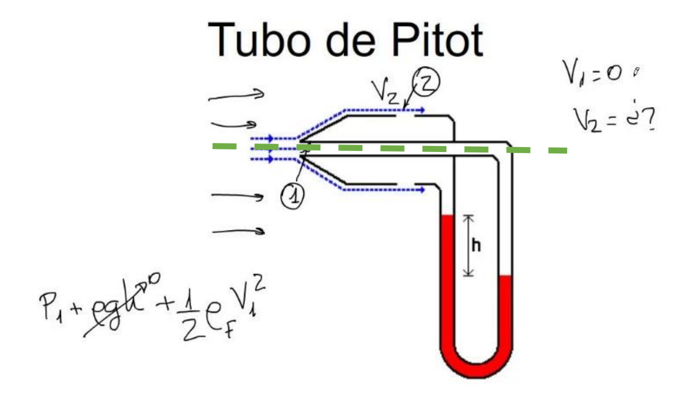
La ecuación de Bernoulli se puede aplicar al tubo Pitot en sistemas de vapor para determinar la velocidad del fluido a partir de la presión diferencial observada (DP) y la densidad conocida del líquido. El tubo Pitot en sistemas de vapor se puede utilizar para medir fluidos incompresibles y compresibles, pero para convertir la presión diferencial en la velocidad, se aplican diferentes ecuaciones a líquidos y gases.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Donde:
- $(P_1) y (P_2)$ son las presiones en los puntos 1 y 2, respectivamente,
- $(v_1) y (v_2)$ son las velocidades del fluido en los puntos 1 y 2, respectivamente,
- $(h_1) y (h_2)$ son las alturas del fluido en los puntos 1 y 2, respectivamente,
- (ρ) es la densidad del fluido,
- (g) es la aceleración debida a la gravedad.

✓ Aplicación al Tubo de Pitot

Para aplicar la ecuación de Bernoulli al tubo de Pitot, consideramos los puntos 1 y 2 como sigue:
- Punto 1: Justo en frente de la apertura del tubo de Pitot, donde medimos la presión total (P_t) y la velocidad(v_1).
- Punto 2: En la apertura del tubo estático, donde medimos la presión estática (P_s)y la velocidad del flujo (v_s)



La altura a es constante en ambos puntos, por lo que $(\rho g a_1)$y $(\rho g a_2)$ se cancelan mutuamente en la ecuación de Bernoulli. De esta forma, la ecuación simplificada para el tubo de Pitot es:

$$P_t + \frac{1}{2}\rho v_t^2 = P_s + \frac{1}{2}\rho v_s^2$$

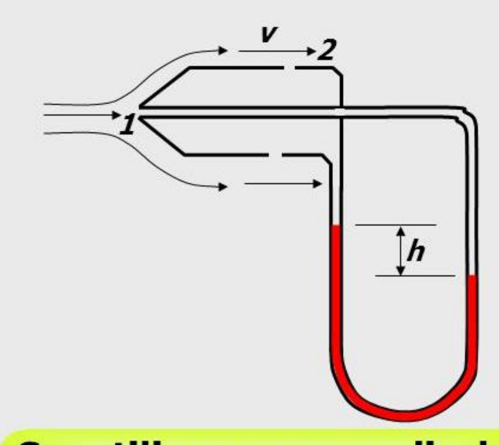
Dado que en el tubo de Pitot, la velocidad en el punto de presión total es casi $cero(v_t \approx 0)$, la ecuación se simplifica a:

$$P_t = P_s + \frac{1}{2}\rho v_s^2$$

Reorganizando para encontrar la velocidad del flujo(v_s):

$$\frac{1}{2}\rho v_s^2 = P_t - P_s$$

$$v_s = \sqrt{\frac{2(P_t - P_s)}{\rho}}$$



$$P_1 + ½ \cdot \rho . v_1^2 = P_2 + ½ \cdot \rho . v_2^2$$

$$P_1 = P_2 + ½ \cdot \rho . v_2^2$$

$$P_1 - P_2 = ½ \cdot \rho . v_2^2$$

$$P_1 - P_2 = \rho' . g . h$$

$$\rho' . g . h = ½ \cdot \rho . v_2^2$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 . \rho' . g . h}{\rho}}$$

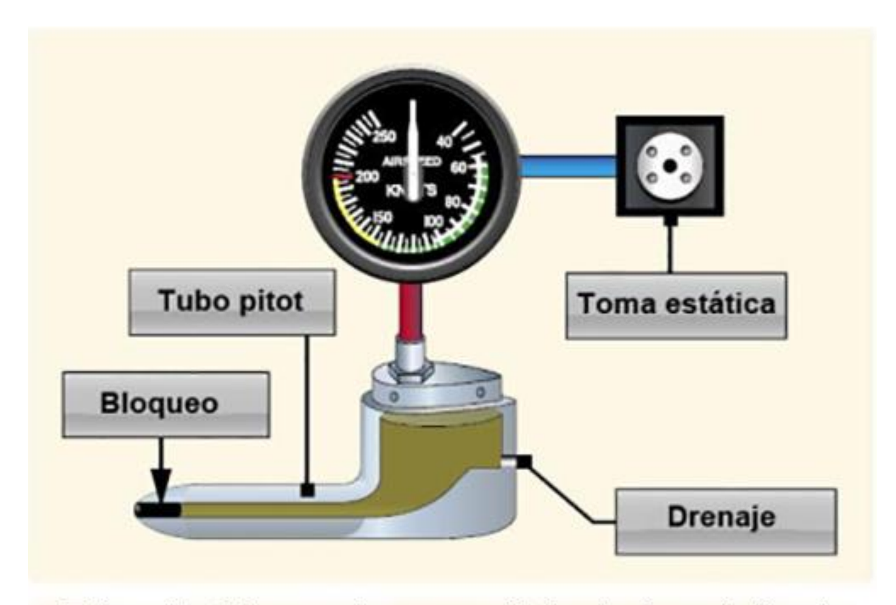
Se utiliza para medir la velocidad de los aviones

- Tipos de tubos de Pitot

  Tubo de Pitot-Estático

  - ✓ El tubo de Pitot-estático

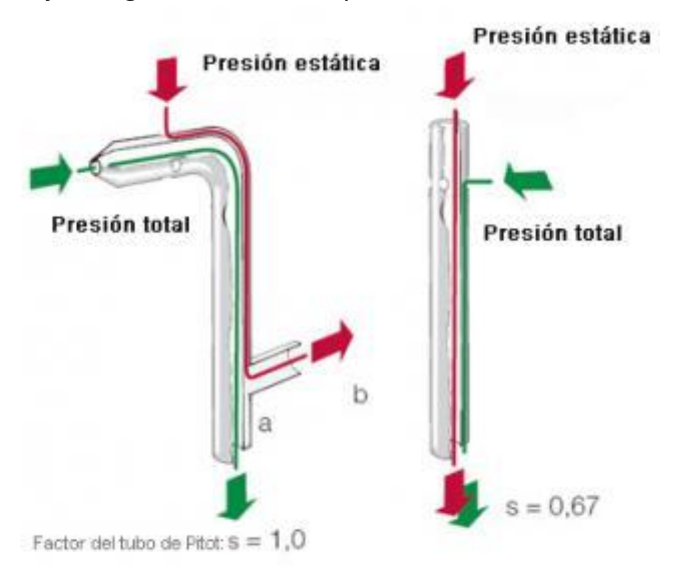
  Combina las funciones de un tubo de Pitot y un puerto estático.



  Tiene una abertura en la punta para medir la presión total y varios orificios laterales para medir la presión estática.
  Permite la medición de la presión dinámica al restar la presión estática de la presión total.
  Comúnmente utilizado en aeronaves y vehículos para proporcionar datos de velocidad del aire y altitud.

  - ✓ Tubo de Pitot Tipo S

  El tubo de Pitot tipo S tiene una forma en "S" o "U" para medir la presión diferencial en flujos de gas en chimeneas y conductos.



  Diseñado para medir velocidades en flujos sucios o con partículas en suspensión.

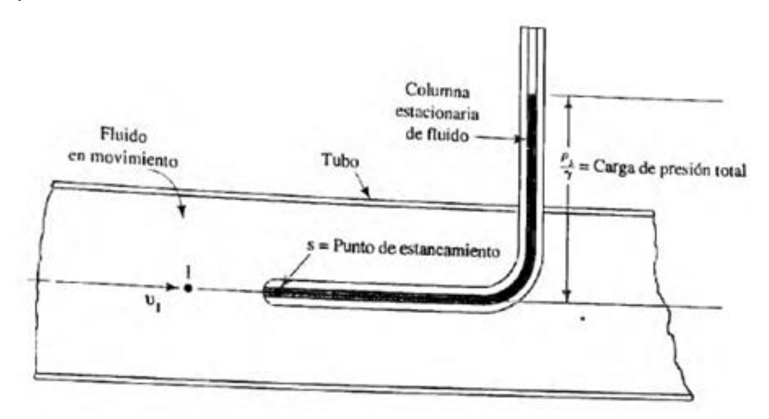
La forma en "S" permite la captura de la presión total y la presión estática en dos brazos separados.
Frecuentemente usado en aplicaciones industriales, como el monitoreo de emisiones y sistemas de ventilación.

✓ Tubo de Pitot Laval

El tubo de Pitot Laval está diseñado para medir velocidades en flujos subsónicos y supersónicos.
Combina una sección convergente y una divergente para manejar variaciones de velocidad en el flujo. Utilizado en aplicaciones de alta velocidad, como en el diseño de aeronaves y vehículos espaciales.

✓ 6. Tubo de Pitot de Cabeza en Forma de L

Este tubo tiene una cabeza en forma de "L" para facilitar la inserción en conductos y tuberías.



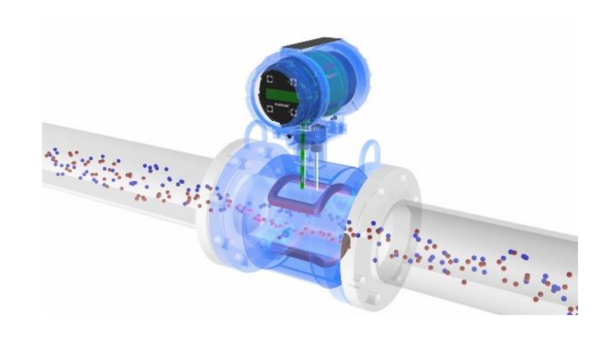
La forma en "L" permite el acceso a flujos en lugares difíciles de alcanzar.
Comúnmente usado en aplicaciones HVAC y en la medición de flujos en sistemas de tuberías industriales.

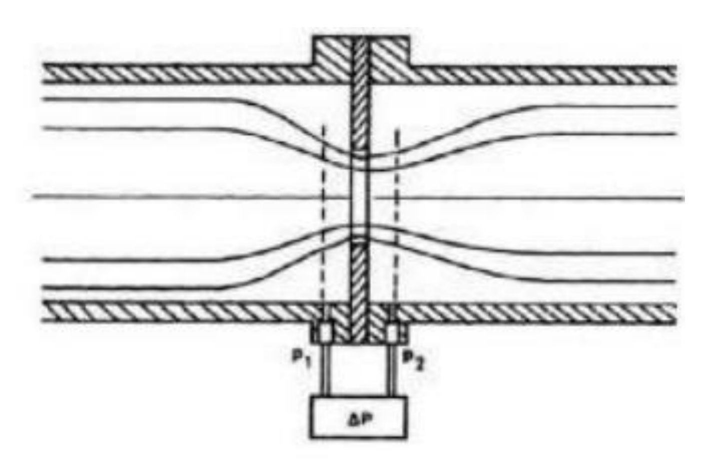
✓ Tubo de Pitot de Cabeza en Forma de H

Este tipo de tubo de Pitot tiene una configuración en "H" para medir en flujos bidimensionales.
Diseñado para medir presiones en diferentes ángulos y proporcionar datos sobre la distribución del flujo.
Utilizado en túneles de viento y en estudios de aerodinámica para capturar la estructura del flujo en múltiples direcciones.

- **Caudalímetros de obstrucción**

Se denomina obstrucción a una restricción de flujo de área constante. En ella se produce una caída de presión que depende del flujo. De esta forma, la mediada de caudal se reduce a una medida de presión diferencial.





Su funcionamiento se describe de la siguiente manera:

$$p + \rho g z + \rho v^2/2 = C$$

donde
- p es la presión estática
- ρ es la densidad del fluido (incompresible)
- g es la aceleración de la gravedad
- z es la altura geométrica respecto a un nivel de referencia
- v es la velocidad del fluido en el punto considerado
- $\rho v^2/2$ se denomina presión dinámica

Si un conducto cerrado se interpone con un orificio, hay una contracción de la ven fluida, que pasa de tener una sección transversal A1(la del conducto) a una sección transversal A2(la del orficio), y ello lleva asociado un cambio de velocidad. Dado que la masas se debe conservar.

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

Aplicando el teorema de Bernoulli, donde se considera que las alturas son iguales se obtiene:

$$v_2^2 = \frac{2(p_1 - p_2)/\rho}{1 - (A_2/A_1)^2}$$

El caudal teórico es $Q = A_2 V_2$: pero el caudal real es algo inferior, se denomina calculando experimentalmente un coeficiente de descarga C_d que depende de A_1, A_2 y otros factores.

$$Q_r = C_d * Q$$

- **Caudalímetros de Área Variable**



Los caudalímetros de área variable también se conocen como "rotámetros". Se trata de medidores de caudal simples pero eficaces para la medición de caudales de líquidos, gases o vapor.

- Funcionamiento

Los medidores de caudal por área variable, conocidos como rotámetros, utilizan el mismo principio de medida que los medidores por presión diferencial, es decir, la relación entre la energía cinética y la energía debida a la presión.

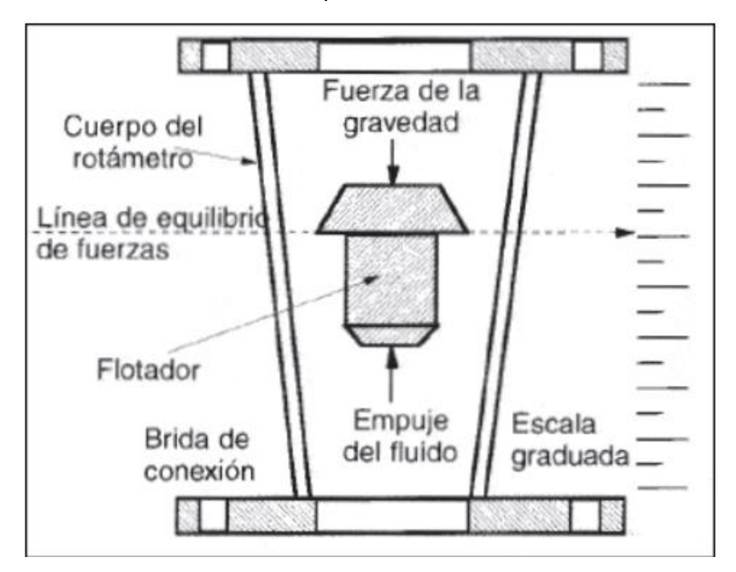
En el sistema de presión diferencial (dP) el área correspondiente a la restricción es constante y la presión diferencial cambia en función del caudal (Q).

Medidor por presión diferencial Q = f (dP) con Área constante

En el rotámetro el área de la restricción cambia al mismo tiempo que el caudal, permaneciendo constante la presión diferencial.

Medidor por área variable Q = f (Área) con dP constante

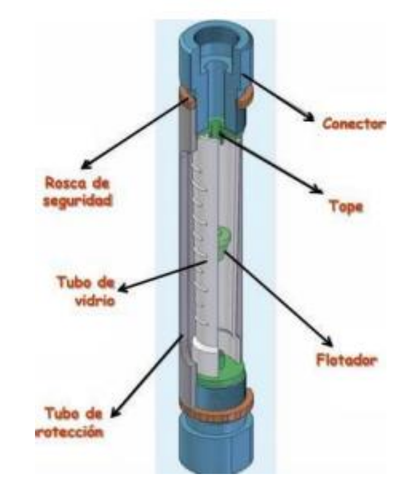
La Figura muestra, de forma simplificada, un rotámetro, el cual consta básica-mente de un tubo vertical troncocónico, en muchas ocasiones de cristal, en cuyo interior se encuentra un flotador. El fluido entra por la parte inferior del tubo, arrastrando el flotador en dirección ascendente. Al ascender el flotador va dejando libre un área en forma anular hasta que la fuerza producida por la presión diferencial en las caras superior e inferior del flotador se equilibra.



- Aplicaciones:

Ventajas	Limitaciones
Bajo coste.	No apto para altas presiones.
Simplicidad.	Debe ser montado verticalmente.
Apto para caudales muy pequeños.	Capacidad limitada para caudales muy altos.
Caída de presión constante y muy pequeña.	Las versiones estándar no disponen de sistema de transmisión.
Rango de caudal 10:1.	Se debe utilizar solamente en fluidos limpios.
Lectura lineal del caudal.	La suciedad sobre el cristal dificulta la lectura.

- Fundamentó matemático:



La posición en la que permanece el flotador depende del caudal.

- F=Empuje hidrostático

$$F = V_f \rho_l g$$

- E= Fuerza de arrastre

$$E = C_d \rho_l A_f \frac{v^2}{2}$$

- G= Peso del flotador

$$G = V_f \rho_f g$$

- Ecuación de Equilibrio:

$$\sum Fv = E + F - G = 0$$

$$E + F = G$$

- Reemplazando cada termino:

$$C_d \rho_l A_f \frac{v^2}{2} + V_f \rho_l g = V_f \rho_f g$$

$$\frac{v^2}{2} = \frac{V_f g (\rho_f - \rho_l)}{C_d \rho_l A_f}$$

Velocidad del fluido $$v = \sqrt{\frac{2 V_f g (\rho_f - \rho_l)}{C_d \rho_l A_f}}$$

El valor de Cd depende de la viscosidad del fluido.

El rotámetro al ser un diafragma de orificio variable tendrá como este, un coeficiente de descarga que englobará el reparto desigual de velocidades, contracción de la vena del fluido, las rugosidades de la tubería, etc.

$$C = \sqrt{\frac{1}{C_d}}$$

Velocidad del fluido $$v = C\sqrt{\frac{2 V_f g (\rho_f - \rho_l)}{\rho_l A_f}}$$

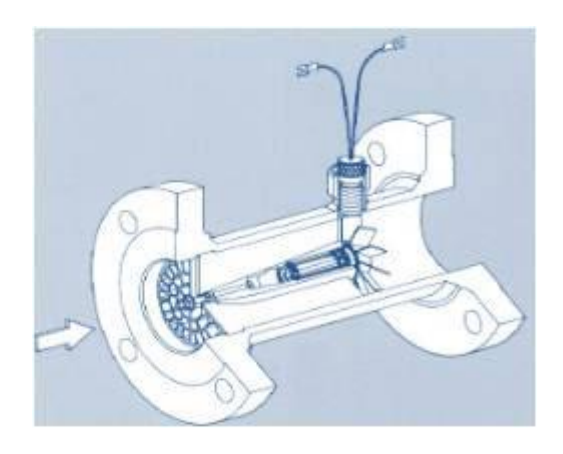
El caudal depende del peso específico del líquido y de los valores de la sección interior del tubo, ya que la misma cambia según sea el punto de equilibrio del flotador.

- ✓ Caudal: $Q = vA_w$
- ✓ Velocidad: $Q = A_w C \sqrt{\frac{2V_f g(\rho_f - \rho_i)}{\rho_l A_f}}$
- ✓ Perdida de carga: $\Delta P = \frac{(G - V_f) g \rho_l}{A_f}$

Donde: A_f es la sección transversal máxima del flotador.

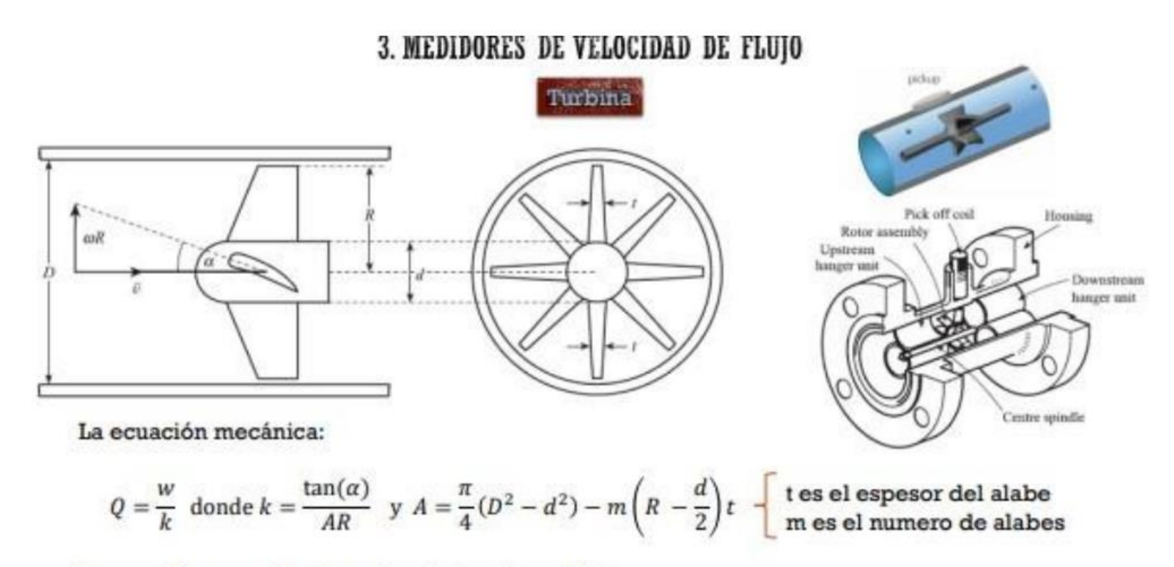
- **Turbinas**

El caudalímetro de turbina (turbina axial) fue inventado por Reinhard Woltman y es un medidor de caudal preciso y fiable para líquidos y gases. Consiste en un tubo, con conexiones en sus extremos, y un rotor magnético de hélice libre (rotor) montado en el interior, en línea con el flujo. El rotor está soportado por un eje que descansa sobre soportes montados internamente.



El rotor se asienta en un eje, que a su vez está suspendido en el flujo por dos soportes. A medida que fluye el medio, se aplica una fuerza sobre las alas del rotor. El ángulo y la forma de las alas transforman la fuerza horizontal en una fuerza perpendicular, creando rotación. Por lo tanto, la rotación del rotor es proporcional a la fuerza aplicada por el flujo. Debido a esto, el rotor girará inmediatamente tan pronto como los fluidos induzcan una fuerza hacia delante. Como el rotor no puede girar solo a través del medio, se detendrá tan pronto como el medio se detenga. Esto garantiza un tiempo de respuesta extremadamente rápido, lo que hace que el caudalímetro de turbina sea ideal para aplicaciones de dosificación.

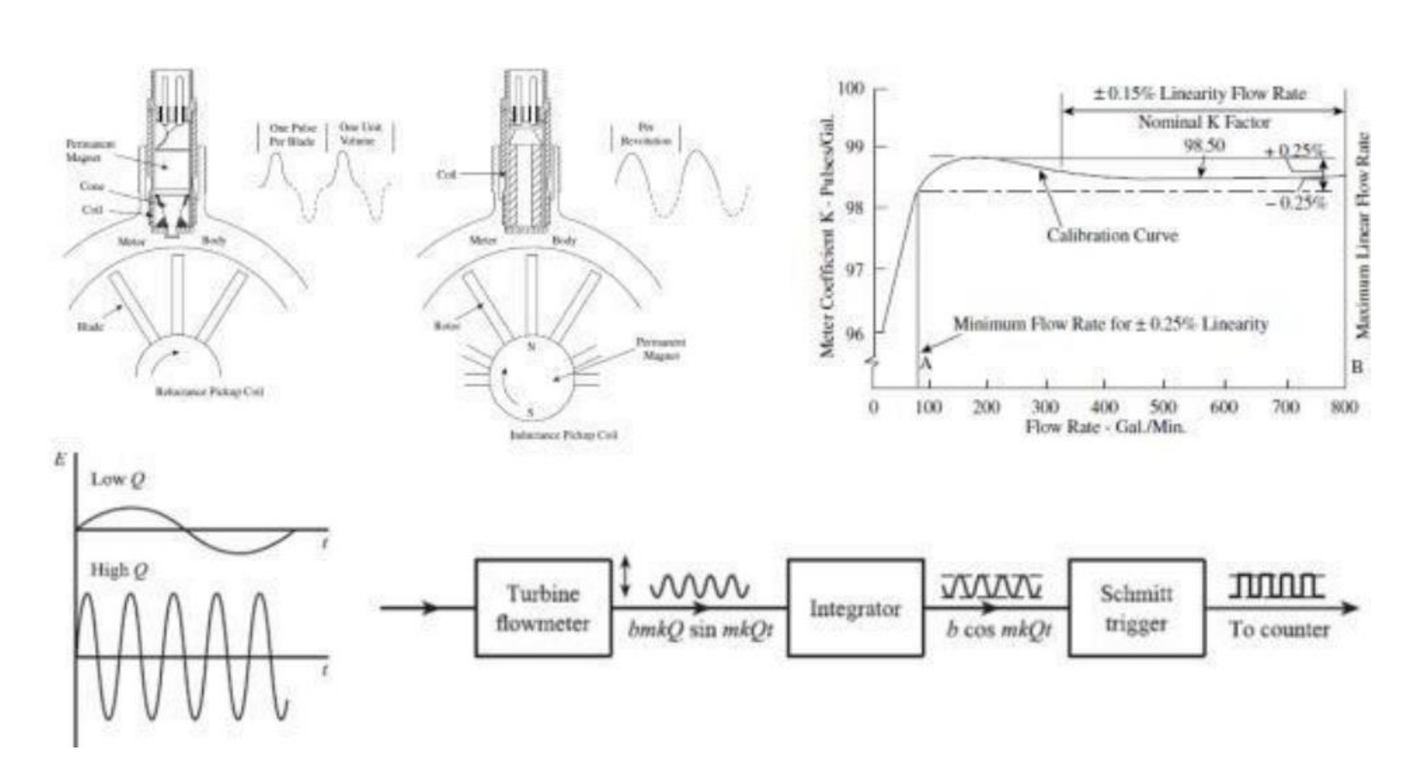
- Fundamento matemático:



La ecuación con el sistema de reluctancia variable:

$$Q = \frac{f}{K} \text{ donde } K = \frac{m.\tan(\alpha)}{2\pi AR}$$

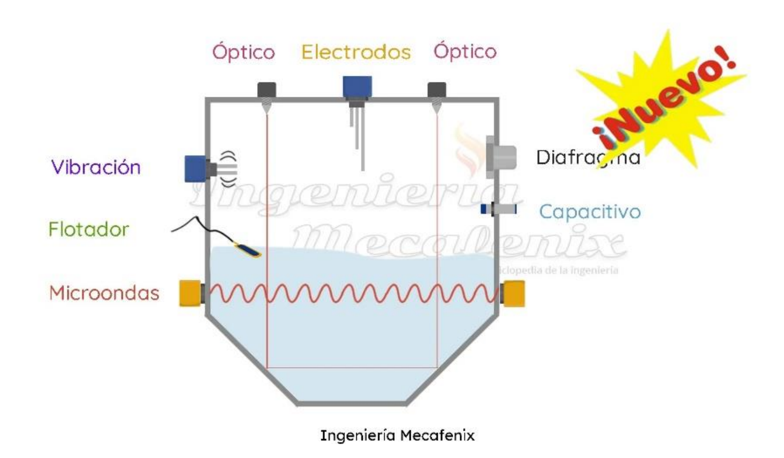
- Aplicación del sensor:



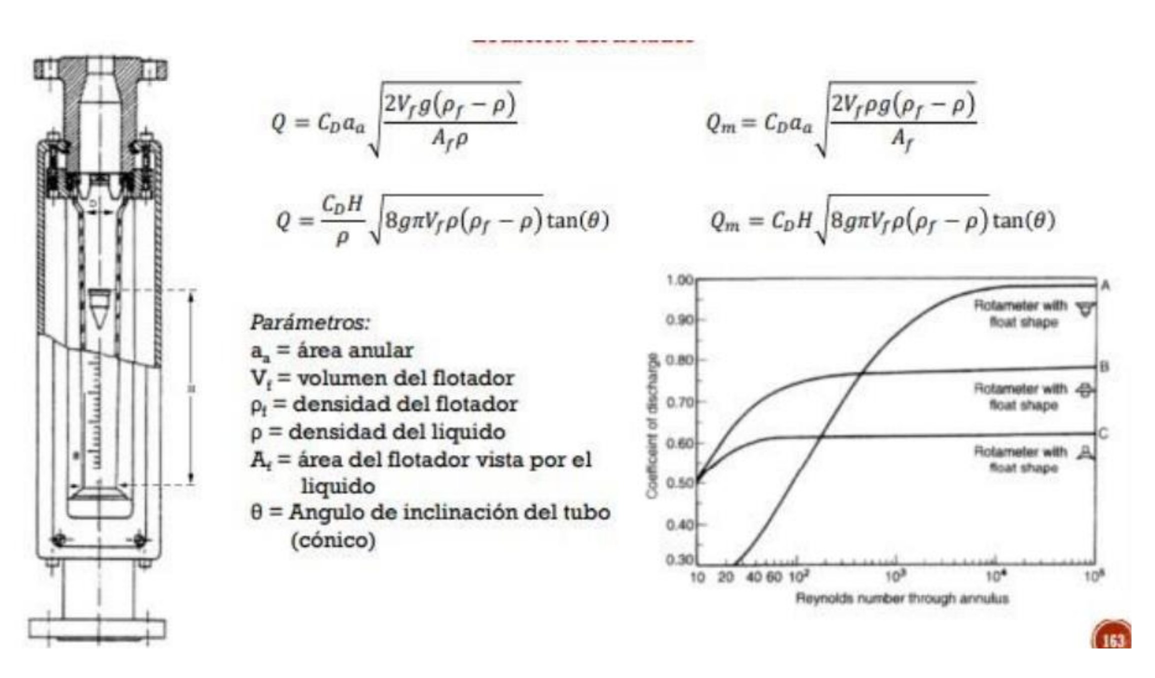
- ✓ Medidas de precisión requeridas en aplicaciones criogénicas
- ✓ Aplicaciones higiénicas de mezcla y dosificación en lecherías, destilerías y cervecerías
- ✓ Medida de caudal en la industria petroquímica
- ✓ Medición de agua ultrapura en productos farmacéuticos
- ✓ Circuitos hidráulicos
- ✓ Monitorización del consumo de combustible en bancos de ensayo de la industria aeroespacial y automoción

- Flotadores:
  - Funcionamiento:

  El piloto flotador detecta el nivel de agua en el tanque o depósito abriéndose al descender el nivel y cerrándose cuando éste se eleva. Cuentan con un brazo de acero inoxidable, donde se monta la esfera "flotador" de polietileno de alta densidad o esfera flotador de acero inoxidable (bajo pedido)



  - Fundamento matemático:



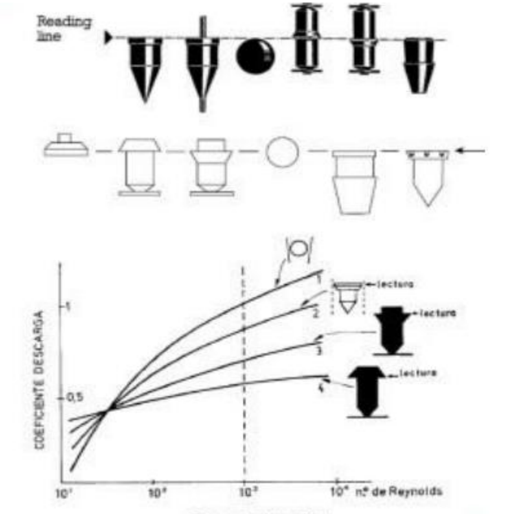
  - Variaciones:

Materiales comunes de flotadores normales

Aluminio	2,72	Inox. 316	8,04
Bronce	8,78	Hastelloy B	9,24
Durimet	8,02	Hastelloy C	8,94
Monel	8,84	Plomo	11,38
Níquel	8,91	Tantalio	16,60
Goma	1,20	Teflón	2,20
Inox. 303	7,92	Titanio	4,50

Materiales comunes de flotadores esféricos

Vidrio de borosilicato	2,20	Inox. 316	8,04
Aluminio	2,72	Monel	8,84
Zafiro	4,03	Carboloy	14,95
Inox. 304	7,92	Tantalio	16,60



- Bibliografía:

1. Archana, T. (2018, febrero 2). *Bimetallic thermometer*. Circuit Globe. https://circuitglobe.com/bimetallic-thermometer.html
2. CastañedaSeguir, C. (s/f). *1.2 dilatacion termica*. SlideShare. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de https://es.slideshare.net/carloscastaneda3150807/12-dilatacion-termica
3. Por, M. (2023, octubre 26). *Sensor de temperatura bimetálico*. Electricity - Magnetism. https://www.electricity-magnetism.org/es/sensor-de-temperatura-bimetalico/
4. Mecafenix, I. (2018, noviembre 26). *Que es un sensor bimetálico y como funciona*. Ingeniería Mecafenix. https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/bimetalico/
5. Ricardo Cabrera, HIDROSTATICA - PRESION - TUBO EN "U". (s/f). Com.ar. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de https://ricuti.com.ar/no_me_salen/hidrostatica/FT_tubo.html
6. Celdas de carga. (s/f). Futek.com. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de https://www.futek.com/celdas-de-carga
7. Por, M. (2023a, octubre 26). Celdas de carga inductivas. Electricity - Magnetism. https://www.electricity-magnetism.org/es/celdas-de-carga-inductivas/
8. Soporte. (2020, enero 29). Tubo Pitot en sistemas de vapor: Ecuaciones para aplicar el Teorema de Bernoulli. Vapor para la Industria. https://vaporparalaindustria.com/tubo-pitot-en-sistemas-de-vapor-ecuaciones-para-aplicar-el-teorema-de-bernoulli/
9. Noguera, I. B. (2021, marzo 6). Tubo de Pitot: ¿Qué es y cómo funciona? Ingeniería Química Reviews. https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2021/03/tubo-de-pitot-que-es-y-como-funciona.html
10. Villajulca, J. C. (2009, septiembre 27). Caudal - Flujo: Medidores de área variable. Instrumentacion y Automatizacion Industrial; InstrumentacionyControl.NET. https://instrumentacionycontrol.net/caudal-flujo-medidores-de-area-variable/
11. Todo sobre los Caudalímetros de Turbina. (s/f). Rosetta. Recuperado el 26 de mayo de 2024, de https://rosetta-technology.com/es/aula-tecnica/notas-tecnicas/caudalimetro-turbina